

LIGHT WAVELENGTH CONVERTING MODULE

Patent number: JP2001308454

Publication date: 2001-11-02

Inventor: HAYAKAWA TOSHIRO

Applicant: FUJI PHOTO FILM CO LTD

Classification:

- International: **H01S5/14**; H01S5/06; H01S5/065; **H01S5/00**; (IPC1-7):
H01S5/14; G02B6/10; G02B6/16; G02F1/377;
H01S5/323

- european: H01S5/14B

Application number: JP20000121981 20000424

Priority number(s): JP20000121981 20000424

Also published as:



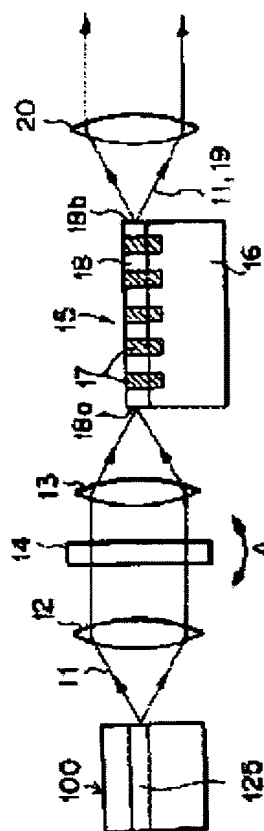
US6885687 (B2)

US2002009102 (A1)

Report a data error here

Abstract of JP2001308454

PROBLEM TO BE SOLVED: To enlarge a range capable of executing the wavelength lock of a semiconductor laser in a wavelength converting module for wavelength converting a basic wave emitted from a semiconductor laser by a waveguide type light wavelength converting element, and for selecting and locking the oscillation wavelength of the semiconductor laser. **SOLUTION:** This light wavelength converting module is constituted of an optical waveguide type light wavelength converting element 15, a semiconductor laser 100 for emitting a laser beam, 11 as a basic wave to be made incident to the light wavelength converting element 15, and a wavelength selecting optical element 14 such as a narrow band pass filter for wavelength selecting the laser beam 11 emitted from the semiconductor laser 100 and to be feedbacked to the semiconductor laser 100. This semiconductor laser 100 is provided with a multiple quantum well active layer 125, and the compositions and/or thickness of at least one of plural quantum well layers constituting this multiple quantum well active layer 125 are made different from those of the other quantum well layers.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-308454

(P2001-308454A)

(43)公開日 平成13年11月2日(2001.11.2)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト*(参考)
H 0 1 S 5/14		H 0 1 S 5/14	2 H 0 5 0
G 0 2 B 6/10		G 0 2 B 6/10	C 2 K 0 0 2
	6/16	6/16	5 F 0 7 3
G 0 2 F 1/377		G 0 2 F 1/377	
H 0 1 S 5/323		H 0 1 S 5/323	
審査請求 未請求 請求項の数30 O L (全 22 頁)			

(21)出願番号 特願2000-121981(P2000-121981)

(22)出願日 平成12年4月24日(2000.4.24)

(71)出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(72)発明者 早川 利郎

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士写真フイルム株式会社内

(74)代理人 100073184

弁理士 柳田 征史 (外1名)

Fターム(参考) 2H050 AC82

2K002 AB12 BA01 CA03 DA06 EA03

FA26 FA27 HA20

5F073 AA13 AA45 AA67 AA74 AA83

CA07 CB02 CB07 CB10 CB22

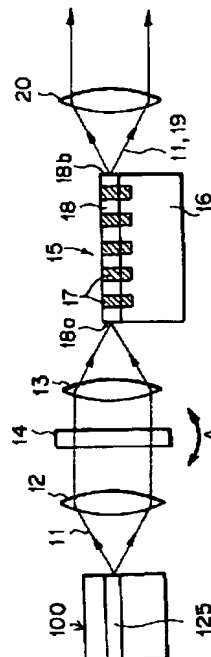
DA23 EA29

(54)【発明の名称】 光波長変換モジュール

(57)【要約】

【課題】 半導体レーザから発せられた基本波を導波路型の光波長変換素子により波長変換し、そして該半導体レーザの発振波長を選択、ロックする構成を有する光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザの波長ロック可能な範囲を拡大させる。

【解決手段】 光導波路型の光波長変換素子15と、この光波長変換素子15に入射される基本波としてのレーザビーム11を発する半導体レーザ100と、この半導体レーザ100から発せられた後該半導体レーザ100にフィードバックされるレーザビーム11を波長選択する狭帯域バンドパスフィルター等の波長選択光学素子14とからなる光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザ100として多重量子井戸活性層125を有するものを用い、この多重量子井戸活性層125を構成する複数の量子井戸層のうちの少なくとも一つを、他の量子井戸層と組成および/または厚みが異なるものとする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光導波路を有し、該光導波路を導波する基本波を波長変換する光波長変換素子と、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザビームを発する半導体レーザと、この半導体レーザから発せられた後該半導体レーザにフィードバックされるレーザビームを波長選択する波長選択光学素子とからなる光波長変換モジュールにおいて、前記半導体レーザが多重量子井戸活性層を有し、この多重量子井戸活性層を構成する複数の量子井戸層のうちの少なくとも一つが、他の量子井戸層と組成および／または厚みが異なることを特徴とする光波長変換モジュール。

【請求項2】 前記波長選択光学素子として前記半導体レーザと前記光波長変換素子との間に配され、該光波長変換素子の端面で反射して半導体レーザにフィードバックされるレーザビームの波長を選択する透過型の波長選択光学素子が用いられていることを特徴とする請求項1記載の光波長変換モジュール。

【請求項3】 前記光波長変換素子に入射する前の前記レーザビームを一部分岐させる光分岐手段と、この分岐されたレーザビームを反射させて前記半導体レーザにフィードバックさせる反射部材とが設けられた上で、前記波長選択光学素子として、前記反射部材と前記半導体レーザとの間のレーザビームの光路に配された透過型の波長選択光学素子が用いられていることを特徴とする請求項1記載の光波長変換モジュール。

【請求項4】 前記光波長変換素子から出射した前記レーザビームを反射させて前記半導体レーザにフィードバックさせる反射部材が設けられた上で、前記波長選択光学素子として、前記反射部材と前記半導体レーザとの間のレーザビームの光路に配された透過型の波長選択光学素子が用いられていることを特徴とする請求項1記載の光波長変換モジュール。

【請求項5】 前記光波長変換素子から出射した前記レーザビームと波長変換波とを分岐する光学系が設けられていることを特徴とする請求項4記載の光波長変換モジュール。

【請求項6】 前記半導体レーザから、前記光波長変換素子に向かわない後方出射光として出射したレーザビームを反射させて前記半導体レーザにフィードバックさせる反射部材が設けられた上で、前記波長選択光学素子として、前記反射部材と前記半導体レーザとの間のレーザビームの光路に配された透過型の波長選択光学素子が用いられていることを特徴とする請求項1記載の光波長変換モジュール。

【請求項7】 前記波長選択光学素子が狭帯域バンドパスフィルタであることを特徴とする請求項1から6いずれか1項記載の光波長変換モジュール。

【請求項8】 前記狭帯域バンドパスフィルタが薄膜型バンドパスフィルタであることを特徴とする請求項7記載の光波長変換モジュール。

【請求項9】 前記薄膜型バンドパスフィルタが前記半導体レーザの光出射端面に形成されていることを特徴とする請求項8記載の光波長変換モジュール。

【請求項10】 前記透過型の波長選択光学素子が薄膜型の狭帯域バンドパスフィルタであって、このバンドパスフィルタが前記反射部材の表面に形成されていることを特徴とする請求項3から6いずれか1項記載の光波長変換モジュール。

【請求項11】 前記波長選択光学素子として、前記半導体レーザと前記光波長変換素子との間に配され、前記レーザビームの一部を反射させて半導体レーザにフィードバックするとともに、このフィードバックするレーザビームの波長を選択する反射型の波長選択光学素子が用いられていることを特徴とする請求項1記載の光波長変換モジュール。

【請求項12】 前記波長選択光学素子として、前記光波長変換素子から出射した前記レーザビームを反射させて前記半導体レーザにフィードバックさせるとともに、このフィードバックするレーザビームの波長を選択する反射型の波長選択光学素子が用いられていることを特徴とする請求項1記載の光波長変換モジュール。

【請求項13】 前記光波長変換素子から出射した前記レーザビームと波長変換波とを分岐する光学系が設けられていることを特徴とする請求項12記載の光波長変換モジュール。

【請求項14】 前記波長選択光学素子として、前記半導体レーザから、前記光波長変換素子に向かわない後方出射光として出射したレーザビームを反射させて前記半導体レーザにフィードバックさせるとともに、このフィードバックするレーザビームの波長を選択する反射型の波長選択光学素子が用いられていることを特徴とする請求項1記載の光波長変換モジュール。

【請求項15】 前記波長選択光学素子がバルクグレーティングであることを特徴とする請求項1から10いずれか1項記載の光波長変換モジュール。

【請求項16】 前記反射型の波長選択光学素子が、コアに複数の屈折率変化部が等間隔に形成された光ファイバーからなるファイバグレーティングであることを特徴とする請求項7から10いずれか1項記載の光波長変換モジュール。

【請求項17】 前記ファイバグレーティングに入射するレーザビームをこのファイバグレーティングのコア端面上で収束させる収束光学系が設けられていることを特徴とする請求項16記載の光波長変換モジュール。

【請求項18】 前記半導体レーザが前記光波長変換素子の端面に結合されていることを特徴とする請求項1から17いずれか1項記載の光波長変換モジュール。

【請求項19】 光導波路を有し、該光導波路を導波する基本波を波長変換する光波長変換素子と、

この光波長変換素子の端面に結合され、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザビームを発する半導体レーザと、

この半導体レーザの光出射面と前記光波長変換素子の端面との間に配され、該光波長変換素子の端面で反射して半導体レーザにフィードバックするレーザビームの波長を選択する透過型の薄膜狭帯域バンドパスフィルターとからなる光波長変換モジュールにおいて、

前記半導体レーザが多重量子井戸活性層を有し、この多重量子井戸活性層を構成する複数の量子井戸層のうちの少なくとも一つが、他の量子井戸層と組成および／または厚みが異なることを特徴とする光波長変換モジュール。

【請求項20】 光導波路を有し、該光導波路を導波する基本波を波長変換する光波長変換素子と、この光波長変換素子の端面に結合され、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザビームを発する半導体レーザと、

この半導体レーザの光出射面と前記光波長変換素子の端面との間に配され、前記レーザビームの一部を反射させて半導体レーザにフィードバックするとともに、このフィードバックするレーザビームの波長を選択する反射型の薄膜狭帯域バンドパスフィルターとからなる光波長変換モジュールにおいて、

前記半導体レーザが多重量子井戸活性層を有し、この多重量子井戸活性層を構成する複数の量子井戸層のうちの少なくとも一つが、他の量子井戸層と組成および／または厚みが異なることを特徴とする光波長変換モジュール。

【請求項21】 基本波としてのレーザビームを発する半導体レーザと、前記レーザビームの波長を選択する導波路型の波長選択光学素子と、前記レーザビームを波長変換する光波長変換素子とが互いに直接結合されてなる光波長変換モジュールにおいて、

前記半導体レーザが多重量子井戸活性層を有し、この多重量子井戸活性層を構成する複数の量子井戸層のうちの少なくとも一つが、他の量子井戸層と組成および／または厚みが異なることを特徴とする光波長変換モジュール。

【請求項22】 前記波長選択光学素子として反射型のものが用いられ、この波長選択光学素子と前記光波長変換素子との間に前記半導体レーザが配設されていることを特徴とする請求項21記載の光波長変換モジュール。

【請求項23】 前記波長選択光学素子として反射型のものが用いられ、

この波長選択光学素子と前記半導体レーザとの間に前記光波長変換素子が配設されていることを特徴とする請求

項21記載の光波長変換モジュール。

【請求項24】 前記波長選択光学素子として反射型のものが用いられ、

この波長選択光学素子の前記半導体レーザと反対側の端面が、その光導波路の延びる方向に対して斜めにカットされていることを特徴とする請求項22または23記載の光波長変換モジュール。

【請求項25】 前記波長選択光学素子として反射型のものが用いられ、

10 この波長選択光学素子が、前記半導体レーザと前記光波長変換素子との間に配設されていることを特徴とする請求項21記載の光波長変換モジュール。

【請求項26】 前記波長選択光学素子が、DBRグレーティングを有するものであることを特徴とする請求項21から25いずれか1項記載の光波長変換モジュール。

【請求項27】 前記波長選択光学素子として透過型のものが用いられ、

20 この波長選択光学素子が、前記半導体レーザと、この半導体レーザに向けて光を反射させる反射面を有する光波長変換素子との間に配設されていることを特徴とする請求項21記載の光波長変換モジュール。

【請求項28】 前記波長選択光学素子が、バンドパスフィルターが挿入された光導波路を有するものであることを特徴とする請求項21から27いずれか1項記載の光波長変換モジュール。

【請求項29】 前記光波長変換素子が、非線形光学効果を有する強誘電体結晶基板に、その一表面に沿って延びる光導波路が形成されるとともに、この光導波路に基板の自発分極の向きを反転させたドメイン反転部が周期的に形成されてなり、該光導波路を導波する基本波を波長変換するものであることを特徴とする請求項1から28いずれか1項記載の光波長変換モジュール。

【請求項30】 前記光波長変換素子が、基本波の導波方向に垂直な面内において、前記基板の自発分極の向きが該基板の前記一表面に対して角度 θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) をなしているものであることを特徴とする請求項29記載の光波長変換モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザから発せられたレーザビームを、光導波路型の光波長変換素子を用いて第2高調波等に変換する光波長変換モジュールに関し、特に詳細には、基本波光源としての半導体レーザの発振波長を波長選択光学素子により選択して、ロックするようにした光波長変換モジュールに関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、例えば特開平10-254001号公報に示されるように、非線形光学効果を有する強誘

電体結晶基板に一方に延びる光導波路が形成されるとともに、この光導波路に基板の自発分極の向きを反転させたドメイン反転部が周期的に形成されてなり、該光導波路においてドメイン反転部の並び方向に導波する基本波を第2高調波等に波長変換する光波長変換素子が知られている。

【0003】また同公報には、この光波長変換素子に、基本波としてのレーザビームを入射させる半導体レーザを結合させてなる光波長変換モジュールも示されている。さらに同公報には、上記半導体レーザに狭帯域バンドパスフィルタ等の波長選択光学素子を備えた外部共振器を組み合わせ、この外部共振器の作用によって半導体レーザの発振波長を所望波長にロックする技術も開示されている。

【0004】また本出願人による特願平11-345724号明細書には、基本波としてのレーザビームを発する半導体レーザと、このレーザビームの波長を選択する導波路型の波長選択光学素子と、前記レーザビームを波長変換する光波長変換素子とが互いに直接結合されてなる光波長変換モジュールが開示されている。

【0005】この光波長変換モジュールにおいては、半導体レーザと直接的にあるいは間に光波長変換素子を紹介して導波路型の波長選択光学素子が結合されているので、この波長選択光学素子から、光波長変換素子の波長変換部の位相整合波長に選択された光を半導体レーザに戻すことができる。それにより、半導体レーザの発振波長を選択、ロックして、安定した出力の波長変換波を得ることができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記の周期的なドメイン反転部（周期ドメイン反転構造）を有する光波長変換素子を用いた光波長変換モジュールにおいては、基本波光源である半導体レーザの発振波長を、光波長変換素子において波長変換波の位相整合が取られるようになる所定波長に正確にロックする必要がある。また、その他のタイプの光波長変換素子を用いた光波長変換モジュールにおいても、そこから出射する波長変換波の波長を正確に所望値に設定したいという要求が広く存在し、その場合は、基本波光源である半導体レーザの発振波長を所定波長に正確にロックする必要がある。

【0007】半導体レーザの発振可能波長は半導体レーザ媒質の利得スペクトル幅により決まっているため、製造時に半導体レーザの活性層の組成や厚みを正確に制御して、発振可能波長を所望の発振波長近傍に合わせることが必要である。

【0008】また、実際に光波長変換モジュールを作製する際には、波長変換効率、各光学結合の効率、フィルタの透過率等が作製するモジュール毎に異なるため、外部波長ロック系の半導体レーザからみた反射率が変化する。このように反射率が変化すると、発振時の半導体レ

ーザの利得スペクトルもシフトする。一般にはこのシフトが大きいと波長ロックし難くなるが、半導体レーザについては広い波長範囲において波長ロックが可能な方が調整範囲が広がるので望ましい。また、波長ロック範囲が広がるほど、半導体レーザ製造時の活性層の組成や厚みの制御性を緩和することができるため、光波長変換モジュールに適した半導体レーザを歩留まり良く作成可能となる。

【0009】しかし、基本波光源として半導体レーザを用いた従来の光波長変換モジュールにおいては、半導体レーザの波長ロック可能な範囲が十分に広いとは言えず、そのため、波長ロックの調整作業が煩雑になったり、半導体レーザの活性層の組成や厚みの制御が困難になるという問題が認められていた。

【0010】本発明は上記の事情に鑑みてなされたものであり、半導体レーザから発せられた基本波を導波路型の光波長変換素子によって波長変換し、そして該半導体レーザの発振波長を選択、ロックする構成を有する光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザの波長ロック可能な範囲を十分に広くすることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明による1つの光波長変換モジュールは、前述したように光導波路を有し、該光導波路を導波する基本波を波長変換する光波長変換素子と、前記基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザビームを発する半導体レーザと、この半導体レーザから発せられた後該半導体レーザにフィードバックされるレーザビームを波長選択する波長選択光学素子とからなる光波長変換モジュールにおいて、前記半導体レーザとして、多重量子井戸活性層を有し、この多重量子井戸活性層を構成する複数の量子井戸層のうちの少なくとも一つが、他の量子井戸層と組成および／または厚みが異なるものが用いられたことを特徴とするものである。

【0012】なお、上述の波長選択光学素子としては、例えば半導体レーザと光波長変換素子との間に配され、該光波長変換素子の端面で反射して半導体レーザにフィードバックされるレーザビームの波長を選択する透過型の波長選択光学素子を用いることができる。

【0013】あるいは、光波長変換素子に入射する前のレーザビームを一部分岐させる光分岐手段と、この分岐されたレーザビームを反射させて半導体レーザにフィードバックさせる反射部材とを設けた上で、波長選択光学素子として、上記反射部材と半導体レーザとの間のレーザビームの光路に配された透過型の波長選択光学素子を用いることもできる。

【0014】また、光波長変換素子から出射したレーザビームを反射させて半導体レーザにフィードバックさせる反射部材を設けた上で、波長選択光学素子として、上記反射部材と半導体レーザとの間のレーザビームの光路

に配された透過型の波長選択光学素子を用いることもできる。なおその場合は、光波長変換素子から出射したレーザービームと波長変換波とを分岐する光学系を設けることが望ましい。

【0015】さらには、半導体レーザーから、光波長変換素子に向かわない後方出射光として出射したレーザービームを反射させて該半導体レーザーにフィードバックさせる反射部材を設けた上で、波長選択光学素子として、上記反射部材と半導体レーザーとの間のレーザービームの光路に配された透過型の波長選択光学素子を用いることもできる。

【0016】以上説明した透過型の波長選択光学素子としてより具体的には、薄膜型バンドパスフィルター等からなる狭帯域バンドパスフィルター等を好適に用いることができる。

【0017】そして、上記の薄膜型バンドパスフィルターを適用する場合、その薄膜型バンドパスフィルターは半導体レーザーの光出射端面に形成されることが望ましい。またその場合、特に前述の反射部材が設けられる構成においては、その薄膜型狭帯域バンドパスフィルターを該反射部材の表面に形成してもよい。

【0018】さらに、上記波長選択光学素子としては、半導体レーザーと光波長変換素子との間に配され、レーザービームの一部を反射させて半導体レーザーにフィードバックするとともに、このフィードバックするレーザービームの波長を選択する反射型の波長選択光学素子も好適に用いることができる。

【0019】また、この波長選択光学素子として、光波長変換素子から出射したレーザービームを反射させて半導体レーザーにフィードバックさせるとともに、このフィードバックするレーザービームの波長を選択する反射型の波長選択光学素子を用いることもできる。なおその場合は、光波長変換素子から出射したレーザービームと波長変換波とを分岐する光学系が設けられることが望ましい。

【0020】さらに上記波長選択光学素子として、半導体レーザーから、光波長変換素子に向かわない後方出射光として出射したレーザービームを反射させて半導体レーザーにフィードバックさせるとともに、このフィードバックするレーザービームの波長を選択する反射型の波長選択光学素子も好適に用いることができる。

【0021】また上記波長選択光学素子としてより具体的には、バルクグレーティングも好適に用いることができる。

【0022】また、上述した反射型の波長選択光学素子としては、コアに複数の屈折率変化部が等間隔に形成された光ファイバーからなるファイバグレーティングを好適に用いることができる。その場合は、ファイバグレーティングに入射するレーザービームをこのファイバグレーティングのコア端面上で収束させる収束光学系が設けられるのが望ましい。

【0023】一方、基本波光源としての半導体レーザーは、光波長変換素子の端面に結合されることが望ましい。

【0024】また、本発明による別の光波長変換モジュールは、光導波路を有し、該光導波路を導波する基本波を波長変換する光波長変換素子と、この光波長変換素子の端面に結合され、基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザービームを発する半導体レーザーと、この半導体レーザーの光出射面と上記光波長変換素子の端面との間に配され、該光波長変換素子の端面で反射して半導体レーザーにフィードバックするレーザービームの波長を選択する透過型の薄膜狭帯域バンドパスフィルターとからなる光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザーとして、多重量子井戸活性層を有し、この多重量子井戸活性層を構成する複数の量子井戸層のうちの少なくとも一つが、他の量子井戸層と組成および／または厚みが異なるものが用いられたことを特徴とするものである。

【0025】また、本発明によるさらに別の光波長変換モジュールは、光導波路を有し、該光導波路を導波する基本波を波長変換する光波長変換素子と、この光波長変換素子の端面に結合され、基本波としてこの光波長変換素子に入射されるレーザービームを発する半導体レーザーと、この半導体レーザーの光出射面と上記光波長変換素子の端面との間に配され、レーザービームの一部を反射させて半導体レーザーにフィードバックするとともに、このフィードバックするレーザービームの波長を選択する反射型の薄膜狭帯域バンドパスフィルターとからなる光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザーとして、多重量子井戸活性層を有し、この多重量子井戸活性層を構成する複数の量子井戸層のうちの少なくとも一つが、他の量子井戸層と組成および／または厚みが異なるものが用いられたことを特徴とするものである。

【0026】また、本発明によるさらに別の光波長変換モジュールは、基本波としてのレーザービームを発する半導体レーザーと、上記レーザービームの波長を選択する導波路型の波長選択光学素子と、上記レーザービームを波長変換する光波長変換素子とが互いに直接結合されてなる光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザーとして、多重量子井戸活性層を有し、この多重量子井戸活性層を構成する複数の量子井戸層のうちの少なくとも一つが、他の量子井戸層と組成および／または厚みが異なるものが用いられたことを特徴とするものである。

【0027】この半導体レーザーと波長選択光学素子と光波長変換素子とが互いに直接結合されてなる光波長変換モジュールにおいては、波長選択光学素子として反射型のものが用いられ、この波長選択光学素子と光波長変換素子との間に半導体レーザーが配設されるのが望ましい。

【0028】あるいは、波長選択光学素子として反射型のものが用いられ、この波長選択光学素子と半導体レーザーとの間に光波長変換素子が配設されてもよい。

【0029】また、上述のように波長選択光学素子として反射型のものが用いられる場合は、この波長選択光学素子の半導体レーザと反対側の端面が、その光導波路の延びる方向に対して斜めにカットされていることが望ましい。

【0030】さらに、この半導体レーザと波長選択光学素子と光波長変換素子とが互いに直接結合されてなる光波長変換モジュールにおいては、波長選択光学素子として反射型のものが用いられ、この波長選択光学素子が、半導体レーザと光波長変換素子との間に配設されてもよい。

【0031】またこの半導体レーザと波長選択光学素子と光波長変換素子とが互いに直接結合されてなる光波長変換モジュールにおいて、波長選択光学素子としてより具体的には、DBRグレーティングを有するものを好適に用いることができる。

【0032】あるいは、この半導体レーザと波長選択光学素子と光波長変換素子とが互いに直接結合されてなる光波長変換モジュールにおいては、波長選択光学素子として透過型のものが用いられ、この波長選択光学素子が、半導体レーザと、この半導体レーザに向けて光を反射させる反射面を有する光波長変換素子との間に配設されてもよい。

【0033】さらに、この半導体レーザと波長選択光学素子と光波長変換素子とが互いに直接結合されてなる光波長変換モジュールにおいては、波長選択光学素子として、バンドパスフィルタが挿入された光導波路を有するものも好適に用いることができる。

【0034】また、以上説明した本発明によるすべての光波長変換モジュールにおいて、光波長変換素子としては、非線形光学効果を有する強誘電体結晶基板に、その一表面に沿って延びる光導波路が形成されるとともに、この光導波路に基板の自発分極の向きを反転させたドメイン反転部が周期的に形成されてなり、該光導波路を導波する基本波を波長変換するものを好適に用いることができる。

【0035】そして、そのようなタイプの光波長変換素子を用いる場合、該光波長変換素子は、基本波の導波方向に垂直な面内において、基板の自発分極の向きが該基板の上記一表面に対して角度 θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$)をなしているものであることが好ましい。

【0036】

【発明の効果】上述のように多重量子井戸活性層を構成する複数の量子井戸層のうちの少なくとも一つが、他の量子井戸層と組成および／または厚みが異なる構成の半導体レーザは、複数の量子井戸層の組成および／または厚みが全て共通している半導体レーザと比較すると、利得スペクトル幅が拡大したものとなる。

【0037】この点について、図38を参照して説明する。同図の(1)は、多重量子井戸活性層を構成する複数

の量子井戸層の厚みが全て共通している場合、同図の(2)はそれらの量子井戸層の厚みが相違する場合の、多重量子井戸活性層全体の利得スペクトルの例を示している。それぞれの場合の利得ピーク波長を λ_2 とし、そこから利得が20dB低下するところの波長、つまり波長選択性の共振器によりレーザ発振可能と考えられる限界の波長を λ_1 、 λ_3 とすると、 λ_1 と λ_3 との差は、同図の(1)の場合は5nm程度、それに対して(2)の場合は11.5nm程度となっている。すなわち(2)の場合は、各量子井戸層の利得スペクトルが互いに相違して多重量子井戸活性層全体の利得スペクトルが拡大している。

【0038】なお、多重量子井戸活性層全体の利得スペクトルを拡大させるためには、複数の量子井戸層の厚みを互いに全て相違させる必要はなく、それらの量子井戸層のうちの少なくとも1つの厚みが他の量子井戸層の厚みと異なるようにすればよい。また、そのように量子井戸層の厚みを変える代わりに組成を変えてもよいし、厚みと組成の双方を変えてもよい。

【0039】また多重量子井戸活性層としては、2つ以上の井戸数を持つ構造であれば全て適用可能である。井戸数が3つ以上の場合には、組成または厚み、あるいはこの両方ともを、量子井戸層毎に変えることもできる。その場合、ある量子井戸層は組成を、別の量子井戸層では厚みを変える等のことが可能である。

【0040】本発明による各光波長変換モジュールにおいては、このように利得スペクトル幅が拡大された半導体レーザを基本波光源として用いたことにより、この半導体レーザの発振波長のロック範囲を十分に広くすることができる。そこで本発明による各光波長変換モジュールは、波長ロックの調整作業が容易なものとなり、さらには半導体レーザの活性層の組成や厚みの制御も容易で、生産性が高いものとなり得る。

【0041】また、上述のように波長ロック範囲を広くとれば、半導体レーザの絶対波長のばらつき（一般には ± 2 nm程度）があっても問題を招くことなく、波長が安定した波長変換波を出射する光波長変換モジュールを得ることが可能になる。

【0042】なお、前述した周期ドメイン反転構造を有する光波長変換素子を用いる場合、該光波長変換素子が特に、基本波の導波方向に垂直な面内において、基板の自発分極の向きが該基板の一表面に対して角度 θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$)をなしているものであれば、下記の理由により効率良く波長変換がなされ得る。

【0043】上記構成を有する光波長変換素子においては、図2に示すように基板16の自発分極の向きつまりZ軸方向が、基板表面16aに対して垂直にはなっていないので、半導体レーザ100から出射したレーザビーム11をその直線偏光方向（矢印Q方向）が基板表面16aと平行となる状態で光導波路18に入射させても、最大の非線形光学定数 d_{33} が有効に利用されて波長変換が可能とな

る。なおこの場合、レーザビーム11の電界ベクトルの向きは基板表面16aと平行な向きとなり、該レーザビーム11は光導波路18をTEモードで導波する。そのときの実効的な非線形光学定数は $d_{33} \cos \theta$ となる。

【0044】上記のように、レーザビーム11をその直線偏光方向が基板表面16aと平行となる状態で光導波路18に入射させるのであれば、直線偏光方向を回転させる入/2板等は不要で基本波入射光学系は簡単なものとなり、半導体レーザ100を光導波路18の端面に直接結合することも可能となる。また、レーザビーム11をこのよう

にして光導波路18に入射させる場合は、レーザビーム11の光導波路18への入力効率も高くなる。

【0045】なお角度 θ の好ましい範囲やその理由に関しては、特開平10-254001号公報に詳しい説明がなされている。

【0046】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。図1は、本発明の第1の実施形態による光波長変換モジュールを示すものであり、図2はその一部を概略的に示すものである。

【0047】図示されるようにこの光波長変換モジュールは、発振波長946nm程度の基本横モードレーザである半導体レーザ（レーザダイオード）100と、この半導体レーザ100から発散光状態で出射したレーザビーム11を平行光化するコリメーターレンズ12と、平行光化されたレーザビーム11を収束させる集光レンズ13と、これらのレンズ12および13の間に配された波長選択光学素子としての狭帯域バンドパスフィルター14と、光波長変換素子15とを有している。

【0048】まず図3を参照して、基本波光源としての半導体レーザ100について、その作製法も併せて説明する。減圧MOCVD成長法により、n-GaAs基板121($\text{Si} = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープ、 $0.5 \mu\text{m}$)、n-In_{0.48}Ga_{0.52}Pクラッド層123($\text{Si} = 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ドープ、 $1.5 \mu\text{m}$)、In_{0.13}Ga_{0.87}As_{0.75}P_{0.25}光ガイド層124（下部 $0.4 \mu\text{m}$ は $\text{Si} = 8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ドープ、上部 $0.05 \mu\text{m}$ はアンドープ、計 $0.45 \mu\text{m}$ ）、MQW（多重量子井戸）活性層125（アンドープ、 7 nm ）、In_{0.13}Ga_{0.87}As_{0.75}P_{0.25}光ガイド層126（アンドープ、 $0.1 \mu\text{m}$ ）、n-In_{0.48}(Ga_{0.7}Al_{0.3})_{0.52}P電流狭窄層127（ $\text{Si} = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープ、 $0.8 \mu\text{m}$ ）、n-In_{0.48}Ga_{0.52}P層128（ $\text{Si} = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープ、 10 nm ）を順次積層する。

【0049】次にフォトリソグラフィ工程とHClを用いて、n-In_{0.48}Ga_{0.52}P層128およびn-In_{0.48}(Ga_{0.7}Al_{0.3})_{0.52}P電流狭窄層127に幅 $W = 2.5 \mu\text{m}$ のストライプ状溝を形成する。このエッチングは選択的にIn_{0.13}Ga_{0.87}As_{0.75}P_{0.25}光

ガイド層126上で停止する。次に2回目のMOCVD成長法により、p-In_{0.48}Ga_{0.52}Pクラッド層129（ $\text{Zn} = 7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ドープ、 $1 \mu\text{m}$ ）、p-GaAsキャップ層130（ $\text{Zn} = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ドープ、 $0.1 \mu\text{m}$ ）を順次積層する。

【0050】次に、n-GaAs基板121の底面を研磨して、全体の厚みが $100 \mu\text{m}$ 程度になるまで薄くし、p側電極131（Ti/Pt/Au）、n側電極132（AuGe/Ni/Au）を蒸着および熱処理により形成する。後は通常と同様のプロセスにてバー切り出し、端面コーティング、チップ切り出しを行なうと、半導体レーザ100が完成する。

【0051】この半導体レーザ100は以上説明した通り、n-GaAs基板121、n-GaAsバッファ層122、n-In_{0.48}Ga_{0.52}Pクラッド層123、In_{0.13}Ga_{0.87}As_{0.75}P_{0.25}光ガイド層124、MQW活性層125、In_{0.13}Ga_{0.87}As_{0.75}P_{0.25}光ガイド層126、n-In_{0.48}(Ga_{0.7}Al_{0.3})_{0.52}P電流狭窄層127、n-In_{0.48}Ga_{0.52}P層128、p-In_{0.48}Ga_{0.52}Pクラッド層129、p-GaAsキャップ層130、p側電極131およびn側電極132を備えてなる。

【0052】上記構成の半導体レーザ100は、劈開された両端面に30%程度の反射率となるようにコーティングを施すと、946nm程度の波長にて発振する。この半導体レーザ100のMQW活性層125は、GaAs_{0.75}P_{0.25}障壁層（9nm）、In_{0.13}Ga_{0.87}As_{0.75}P_{0.25}障壁層（4nm）、In_{0.13}Ga_{0.87}As_{0.75}P_{0.25}障壁層（4nm）、In_{0.13}Ga_{0.87}As_{0.75}P_{0.25}障壁層（4nm）、In_{0.13}Ga_{0.87}As_{0.75}P_{0.25}障壁層（4nm）およびGaAs_{0.75}P_{0.25}障壁層（9nm）を有する多重量子井戸構造のものであり、3つの量子井戸層の厚みは互いに異なっている。

【0053】光波長変換素子15は、非線形光学効果を有する強誘電体であるLiNbO₃にMgOが例えば5mol%ドープされたもの（以下、MgO-LNと称する）の結晶からなる基板16に、そのZ軸と平行な自発分極の向きを反転させたドメイン反転部17が周期的に形成されてなる周期ドメイン反転構造と、この周期ドメイン反転構造に沿って延びるチャンネル光導波路18が形成されてなるものである。

【0054】周期ドメイン反転構造は、基板16のX軸方向にドメイン反転部17が並ぶように形成され、その周期 Λ は、MgO-LNの屈折率の波長分散を考慮し、980nm近辺の波長に対して1次の周期となるように $5.3 \mu\text{m}$ とされている。このような周期ドメイン反転構造は、例えば特開平6-242478号公報に示される方法によって形成することができる。

【0055】一方チャンネル光導波路18は、周期ドメイン反転部17を形成した後、基板16の+Z面上に公知のフォトリソグラフィーとリフトオフにより金属マスクパタ

ーンを形成し、この基板16をピロリン酸中に浸漬してプロトン交換処理を行ない、マスクを除去した後にアニール処理する、等の方法によって作成することができる。その後このチャンネル光導波路18の両端面18a、18bをエッジ研磨すると、光波長変換素子15が完成する。

【0056】以下図4、5および6を参照して、光波長変換素子15の製造方法を詳しく説明する。図4中の16は、上記MgO-LNの結晶からなる基板である。このMgO-LN基板16は、図5に示すようにMgO-LNのインゴット16'を、Y軸をYZ面内でZ軸側に3°回転させた軸に対して垂直な面でカット、研磨して得られたものであり、単分極化処理がなされて例えば厚さ0.3mmに形成されている。なお、この研磨角度 $\theta = 3^\circ$ の精度は $\pm 0.1^\circ$ である。

【0057】以上のように形成されたMgO-LN基板16の表面16a、16bと平行でX軸と直交する方向、および基板表面16a、16bに対して垂直な方向はそれぞれ、Z軸方向およびY軸方向に対して角度 $\theta = 3^\circ$ をなす方向となるので、これらの方向を便宜的にそれぞれZ'方向、Y'方向と称する。

【0058】上記MgO-LN基板16の表面16a、16bに、図4のようにそれぞれ楕形電極80、平板電極81を取り付け、+Z側に位置する楕形電極80の方が正電位、-Z側に位置する平板電極81の方が負電位となるようにして、両電極80、81間にパルス電圧を印加すると、図6に概略図示するように、+Z方向を向いていた基板16の自発分極の向きが電圧印加部分において反転して、ドメイン反転部17が形成される。なお上記自発分極の向きは、基板表面16aに対して $\theta = 3^\circ$ 傾いており、したがってドメイン反転部17の分極の向きも基板表面16aに対して同様に傾くことになる。

【0059】本例では、楕形電極80および平板電極81をCrから形成したが、MgO-LN基板16よりも電気抵抗が十分低い材料ならば何でも電極材料として用いることができる。楕形電極80および平板電極81は周知のフォトリソグラフィによって形成することができ、厚さは例えば20~100 μm 、長さ L_1 は例えば6mm、両電極80、81間のギャップGは例えば100~500 μm とすればよい。また楕形電極80の周期 Λ は4.75 μm 、電極指の長さおよび幅はそれぞれ1000 μm 、0.5 μm とした。そして平板電極81の幅、すなわちZ'方向の寸法は100 μm とした。

【0060】上記の電圧印加は、電流のリークを防止するために真空中で行なった。このときの真空度は、例えば 5×10^{-5} Torr以下とする。なお、このように真空中で電圧印加する代わりに、絶縁オイル中で電圧印加するようにしてもよい。また印加電圧のパルス幅は、1~10 sec とすればよい。

【0061】各ドメイン反転部17は、印加電圧が大きい程Z軸と垂直な方向に大きく広がるようになる。周知の

ように、周期ドメイン反転構造を利用して波長変換する場合の波長変換効率、ドメイン反転部17と非反転部との導波方向の長さの比が1:1のときに最大となる。この比が1:1となるのは、例えば上記ギャップGが200 μm の場合は印加電圧を約4000Vにしたとき、ギャップGが400 μm の場合は印加電圧を約3500Vにしたときである。これらの最適電圧の値は、基板温度を室温に設定した場合のものであり、基板温度を例えば200℃とすると、各場合の最適電圧は約1/3となる。

【0062】なお以上は、基板の表と裏に電極を形成してドメイン反転部を形成した例であるが、基板の表のみに電極を設けても、同様の深いドメイン反転部が得られる。この場合、電極形成プロセスを基板の表に対して行なうだけでよいので、素子製造プロセスが簡便になって、より望ましい。

【0063】次に上記MgO-LN基板16に、以下のようにしてチャンネル光導波路18を形成した。まず、ドメイン反転が最も深くなっている楕形電極80の先端近傍に、周知のフォトリソグラフィにより、Z'方向の幅が5~9 μm 程度の金属（本例ではTa）のマスクを形成する。その後このMgO-LN基板16に対して、ピロリン酸中で160℃で64分間プロトン交換処理を行ない、Taマスクをエッチング液で除去した後、大気中において350℃で1時間アニールする。以上の処理により、図1および2に示すように、ドメイン反転部17の並び方向に沿って延びるチャンネル光導波路18が形成される。

【0064】次に上記MgO-LN基板16の、チャンネル光導波路18の端面を含む-X面および+X面を光学研磨すると、光波長変換素子15が完成する。

【0065】そして図1に示すように、半導体レーザ100から発せられた中心波長946nmのレーザビーム11を集光レンズ13により集光して、チャンネル光導波路18の端面18aにおいて収束させる。それにより、この基本波としてのレーザビーム11がチャンネル光導波路18内に入射する。このレーザビーム11はチャンネル光導波路18をTEモードで導波し、その周期ドメイン反転領域で位相整合（いわゆる疑似位相整合）して、波長が1/2つまり473nmの青色の第2高調波19に波長変換される。この第2高調波19もチャンネル光導波路18を導波モードで伝搬し、光導波路端面18bから出射する。

【0066】光導波路端面18bからは、波長変換されなかったレーザビーム11も発散光状態で出射し、第2高調波19とともにコリメーターレンズ20によって平行光化される。第2高調波19は、図示しないバンドパスフィルターやダイクロイックミラー等によってレーザビーム11と分離され、所定の用途に用いられる。

【0067】上記の光波長変換モジュールにおいては、MgO-LN基板16の自発分極の向きつまりZ軸方向が、基板表面16aに対して垂直にはなっていないので、半導体レーザ100から出射したレーザビーム11をその直

線偏光方向（矢印Q方向）が基板表面16aと平行となる状態で光導波路18に入射させても、非線形光学定数 d_{eff} が利用されて波長変換が可能となる。なおこの場合、レーザビーム11についての出射ビームパターンと導波ビームパターンは一致し、ビームパターンのミスマッチがないため、該レーザビーム11を高効率で光導波路18に入力させることができる。そこで、発生する第2高調波19の強度が高くなる。レーザビーム11は光導波路18をTEモードで導波し、このときの実効的な非線形光学定数は $d_{\text{eff}} \cos \theta$ となる。

【0068】この場合の波長変換の換算効率は180 % / W cm^2 であり、例えば文献Technical Digest Of The Fourth Microoptics Conference And The Eleventh Topical Meeting On Gradient-index Optical Systems p.154等に記載されている、XまたはYカットのLiTaO₃基板に光導波路および周期ドメイン反転構造を形成してなる従来の光波長変換素子の換算効率は55 % / W cm^2 等と比べて、著しく高いものとなっている。

【0069】本実施形態においてはチャンネル光導波路18の端面18aに、中心波長946 nmのレーザビーム11を一部反射させる所定のコーティングが施され、該端面18aで反射したレーザビーム11が半導体レーザ100にフィードバックされる。つまりこの装置では、上記光導波路端面18aと半導体レーザ100の後方端面（図1中の左方の端面）によって半導体レーザ100の外部共振器が構成されている。

【0070】そしてこの外部共振器の中に配された狭帯域バンドパスフィルタ14により、そこを透過するレーザビーム11の波長が選択される。半導体レーザ100はこの選択された波長で発振し、選択波長は狭帯域バンドパスフィルタ14の回転位置（図1中の矢印A方向の回転位置）に応じて変化する。この狭帯域バンドパスフィルタ14を適宜回転させることにより、半導体レーザ100の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0071】そして本実施形態においては、半導体レーザ100のMQW活性層125の3つの量子井戸層の厚みがそれぞれ5.6 nm、6 nm、6.4 nmと互いに異なるため、各量子井戸層の利得スペクトルが互いに相違して（利得ピークのズレ幅は互いに5 nm程度である）MQW活性層125の全体の利得スペクトルが拡大し、より広い波長範囲において発振波長の選択、ロックが可能となっている。本例では、波長ロックによりサイドモード抑圧比25 dB以上の単一モード発振が可能となっている。

【0072】なお、MQW活性層125の全体の利得スペクトルを拡大させるためには、MQW活性層125の複数の量子井戸層のうちの少なくとも1つの厚みを他の量子井戸層の厚みと変える他、それら複数の量子井戸層のうちの少なくとも1つの組成を、あるいは組成および厚みを他の量子井戸層の組成と変えるようにしてもよい。

【0073】次に図7を参照して、本発明の第2の実施形態について説明する。なおこの図7において、図1および2中のものと同等の要素には同番号を付し、それらについての重複した説明は省略する（以下、同様）。

【0074】この第2の実施形態においては、コリメーターレンズ12と集光レンズ13との間にビームスプリッタ82が設けられ、光波長変換素子15に向かうレーザビーム11がこのビームスプリッタ82により一部分岐される。分岐されたレーザビーム11は狭帯域バンドパスフィルタ14を透過した後、集光レンズ84によって収束し、その収束位置に配されたミラー85において反射する。

【0075】反射したレーザビーム11は、それまでの光路を逆に辿って半導体レーザ100にフィードバックされる。つまりこの装置では、上記ミラー85と半導体レーザ100の後方端面（図7中の左方の端面）によって半導体レーザ100の外部共振器が構成されている。

【0076】そしてこの外部共振器の中に配された狭帯域バンドパスフィルタ14により、フィードバックされるレーザビーム11の波長が選択される。半導体レーザ100はこの選択された波長で発振し、選択波長は狭帯域バンドパスフィルタ14の回転位置（図7中の矢印A方向の回転位置）に応じて変化する。この狭帯域バンドパスフィルタ14を適宜回転させることにより、半導体レーザ100の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0077】次に図8を参照して、本発明の第3の実施形態について説明する。この第3の実施形態において、光波長変換素子15の光導波路端面18bから出射した第2高調波19および、波長変換されなかったレーザビーム11は、コリメーターレンズ20によって平行光化される。平行光化された第2高調波19はダイクロイックミラー21で反射し、利用位置に導かれる。一方波長変換されなかったレーザビーム11はダイクロイックミラー21および狭帯域バンドパスフィルタ14を透過し、集光レンズ22により集光されてミラー85上において収束する。

【0078】ミラー85で反射したレーザビーム11は、それまでの光路を逆に辿って半導体レーザ100にフィードバックされる。つまりこの装置では、上記ミラー85と半導体レーザ100の後方端面（図8中の左方の端面）によって半導体レーザ100の外部共振器が構成されている。

【0079】そしてこの場合も、狭帯域バンドパスフィルタ14を矢印A方向に適宜回転させることにより、半導体レーザ100の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0080】次に図9を参照して、本発明の第4の実施形態について説明する。この第4の実施形態においては、光波長変換素子15に向かわないレーザビーム11R（後方出射光）が、コリメーターレンズ86によって平行光化される。平行光化されたレーザビーム11Rは狭帯域バンドパスフィルタ14を透過した後、集光レンズ84に

より集光されてミラー85上において収束する。

【0081】ミラー85で反射したレーザビーム11Rは、それまでの光路を逆に辿って半導体レーザ100にフィードバックされる。つまりこの装置では、上記ミラー85と半導体レーザ100の前方端面（図9中の右方の端面）によって半導体レーザ100の外部共振器が構成されている。

【0082】そしてこの外部共振器の中に配された狭帯域バンドパスフィルター14により、フィードバックされるレーザビーム11Rの波長が選択される。半導体レーザ100はこの選択された波長で発振し、選択波長は狭帯域バンドパスフィルター14の回転位置（図9中の矢印A方向の回転位置）に応じて変化するので、この狭帯域バンドパスフィルター14を適宜回転させることにより、半導体レーザ100の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0083】次に図10を参照して、本発明の第5の実施形態について説明する。この第5の実施形態の光波長変換モジュールは、図1に示したものと比べると、狭帯域バンドパスフィルター14に代えて透過型のバルクグレーティング90が用いられている点が異なるものである。このバルクグレーティング90も波長選択光学素子として機能するものであり、それを矢印A方向に適宜回転させることにより、半導体レーザ100の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0084】なおこの透過型のバルクグレーティング90は、図7、8および9図に示した各構成においても、狭帯域バンドパスフィルター14に代えて用いることができ、そのようにした場合も上記と同様の作用、効果を奏するものである。

【0085】次に図11を参照して、本発明の第6の実施形態について説明する。この第6の実施形態の光波長変換モジュールは、図1に示したものと比べると、狭帯域バンドパスフィルター14に代えて、透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91が用いられた点が異なるものである。この狭帯域薄膜バンドパスフィルター91は、半導体レーザ100の光出射端面100a上に形成されている。

【0086】この狭帯域薄膜バンドパスフィルター91は、薄膜の構成に応じた波長の光を選択的に透過させるものである。このような狭帯域薄膜バンドパスフィルター91を、光波長変換素子15の光導波路端面18aと半導体レーザ100の後方端面（図11中の左方の端面）によって構成される半導体レーザ100の外部共振器中に配したことにより、半導体レーザ100の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0087】次に図12を参照して、本発明の第7の実施形態について説明する。この第7の実施形態の光波長変換モジュールは、図11に示したものと比べると、透

過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91の配置位置が異なるものである。すなわちこの場合は、光波長変換素子15の光導波路端面18aを含む端面上に狭帯域薄膜バンドパスフィルター91が形成されている。

【0088】この実施形態でも、狭帯域薄膜バンドパスフィルター91を、光波長変換素子15の光導波路端面18aと半導体レーザ100の後方端面（図12中の左方の端面）によって構成される半導体レーザ100の外部共振器中に配したことにより、半導体レーザ100の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0089】次に図13を参照して、本発明の第8の実施形態について説明する。この第8の実施形態の光波長変換モジュールは、図12に示したものと比べると、コリメーターレンズ12および集光レンズ13を省いた上で、半導体レーザ100の光出射端面100aを、透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91を介して光波長変換素子15に直接的に結合した点が異なるものである。

【0090】この実施形態でも、狭帯域薄膜バンドパスフィルター91を、光波長変換素子15の光導波路端面18aと半導体レーザ100の後方端面（図13中の左方の端面）によって構成される半導体レーザ100の外部共振器中に配したことにより、半導体レーザ100の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0091】またこの第8の実施形態の光波長変換モジュールは、基本波を光波長変換素子に入射させる入射光学系が不要であるため、構成が簡単で、また光学的な調整も極めて容易なものとなる。

【0092】上記のように半導体レーザ100を光波長変換素子15に結合する場合、透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91は半導体レーザ100と光波長変換素子15との間に限らず、例えば、光波長変換素子15の光導波路端面18bを含む端面上等に形成することも可能である。

【0093】さらに、半導体レーザ100を光波長変換素子15に結合する場合、波長選択光学素子は上記透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91に限られるものではないことは勿論である。例えば前述した図8の構成において、レンズ12および13を省いて半導体レーザ100を光波長変換素子15に直接結合することもできる。

【0094】次に図14を参照して、本発明の第9の実施形態について説明する。この第9の実施形態の光波長変換モジュールは、図8に示したものと比べると、狭帯域バンドパスフィルター14に代えて、透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルター91が用いられた点が異なるものである。この狭帯域薄膜バンドパスフィルター91は、光波長変換素子15の光導波路端面18bを含む端面上に形成されている。

【0095】この実施形態でも、狭帯域薄膜バンドパスフィルター91を、ミラー85と半導体レーザ100の後方端

面（図 14 中の左方の端面）によって構成される半導体レーザ 100 の外部共振器中に配したことにより、半導体レーザ 100 の発振波長を、ドメイン反転部 17 の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0096】次に図 15 を参照して、本発明の第 10 の実施形態について説明する。この第 10 の実施形態の光波長変換モジュールは、図 9 に示したものと比べると、狭帯域バンドパスフィルタ 14 に代えて、透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルタ 91 が用いられた点が異なるものである。この狭帯域薄膜バンドパスフィルタ 91 は、ミラー 85 の反射面上に形成されている。

【0097】この実施形態でも、狭帯域薄膜バンドパスフィルタ 91 を、ミラー 85 と半導体レーザ 100 の前方端面（図 15 中の右方の端面）によって構成される半導体レーザ 100 の外部共振器中に配したことにより、半導体レーザ 100 の発振波長を、ドメイン反転部 17 の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0098】なお以上説明した透過型の狭帯域薄膜バンドパスフィルタ 91 は、図 7 の構成において狭帯域バンドパスフィルタ 14 に代えて用いることも勿論可能である。その場合、狭帯域薄膜バンドパスフィルタ 91 は、例えばミラー 85 の反射面や、半導体レーザ 100 の前方端面（図 7 中の右方の端面）の上に形成すればよい。

【0099】次に図 16 を参照して、本発明の第 11 の実施形態について説明する。この第 11 の実施形態の光波長変換モジュールは、図 7 に示したものと比べると、ミラー 85 に代えて反射型のバルクグレーティング 92 が設けられ、そして狭帯域バンドパスフィルタ 14 が省かれた点が異なるものである。

【0100】上記反射型のバルクグレーティング 92 は、そこに入射したレーザビーム 11 を反射させる。つまりこの装置では、このバルクグレーティング 92 と半導体レーザ 100 の後方端面（図 16 中の左方の端面）によって半導体レーザ 100 の外部共振器が構成されている。またこのバルクグレーティング 92 は波長選択光学素子として機能するものであり、それを矢印 A 方向に適宜回転させることにより、半導体レーザ 100 の発振波長を、ドメイン反転部 17 の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0101】次に図 17 を参照して、本発明の第 12 の実施形態について説明する。この第 12 の実施形態の光波長変換モジュールは、図 8 に示したものと比べると、ミラー 85 に代えて反射型のバルクグレーティング 92 が設けられ、そして狭帯域バンドパスフィルタ 14 が省かれた点が異なるものである。

【0102】上記反射型のバルクグレーティング 92 は、そこに入射したレーザビーム 11 を反射させる。つまりこの装置では、このバルクグレーティング 92 と半導体レーザ 100 の後方端面（図 17 中の左方の端面）によって半導体レーザ 100 の外部共振器が構成されている。またこ

のバルクグレーティング 92 は波長選択光学素子として機能するものであり、それを矢印 A 方向に適宜回転させることにより、半導体レーザ 100 の発振波長を、ドメイン反転部 17 の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0103】次に図 18 を参照して、本発明の第 13 の実施形態について説明する。この第 13 の実施形態の光波長変換モジュールは、図 9 に示したものと比べると、ミラー 85 に代えて反射型のバルクグレーティング 92 が設けられ、そして狭帯域バンドパスフィルタ 14 が省かれた点が異なるものである。

【0104】上記反射型のバルクグレーティング 92 は、そこに入射したレーザビーム 11 を反射させる。つまりこの装置では、このバルクグレーティング 92 と半導体レーザ 100 の前方端面（図 18 中の右方の端面）によって半導体レーザ 100 の外部共振器が構成されている。またこのバルクグレーティング 92 は波長選択光学素子として機能するものであり、それを矢印 A 方向に適宜回転させることにより、半導体レーザ 100 の発振波長を、ドメイン反転部 17 の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0105】なお、以上説明したような反射型のバルクグレーティング 92 に代えて、反射型の狭帯域薄膜バンドパスフィルタを用いることもできる。そのように形成された本発明の第 14 の実施形態を、図 19 を参照して説明する。この第 14 の実施形態の光波長変換モジュールは、図 18 に示したものと比べると、コリメーターレンズ 86、集光レンズ 84 および反射型のバルクグレーティング 92 を省いて、半導体レーザ 100 の後方端面 100b に反射型の狭帯域薄膜バンドパスフィルタ 95 を形成した点が異なるものである。

【0106】なお勿論ながら、上記図 19 の構成においてレンズ 12 および 13 を省いて、半導体レーザ 100 を光波長変換素子 15 に直接結合するようなことも可能である。

【0107】次に図 20 を参照して、本発明の第 15 の実施形態について説明する。この第 15 の実施形態の光波長変換モジュールは、図 17 に示したものと比べると、バルクグレーティング 92 に代えてファイバグレーティング 23 が設けられている点が異なるものである。

【0108】光波長変換素子 15 の光導波路端面 18b から、波長変換されなかったレーザビーム 11 も発散光状態で出射し、コリメーターレンズ 20 によって平行光化される。平行光化された第 2 高調波 19 はダイクロイックミラー 21 で反射し、利用位置に導かれる。一方波長変換されなかったレーザビーム 11 はダイクロイックミラー 21 を透過し、集光レンズ 22 により集光されてファイバグレーティング 23 の端面において収束する。

【0109】このファイバグレーティング 23 は図 21 に詳しく示すように、クラッド 23b 内にそれよりも高屈折率のコア 23c が埋め込まれてなり、そしてコア 23c に

は複数の屈折率変化部が等間隔に形成された光ファイバーである。このファイバークレーティング23は、例えばクラッド外径が125 μm 、コア径が約10 μm の光通信用光ファイバーのコア23cに、紫外域の波長248 nmのエキシマレーザ光を用いて二光束干渉露光により干渉縞を形成させ、コア23cの光が照射された部分の屈折率を変化(上昇)させることにより作成される。なおこの屈折率変化は、コア23cにドーピングされている酸化ゲルマニウムが紫外線照射により化学変化を起こすことによって生じると考えられている。

【0110】上記ファイバークレーティング23は、集光レンズ22を経たレーザビーム11の収束位置にコア端面23aが位置するように配設されている。そこでレーザビーム11はコア端面23aからコア23c内に入射し、そこを伝搬する。コア23cに形成された上記屈折率変化部は、レーザビーム11の伝搬方向に沿ったグレーティング(回折格子)を構成している。このグレーティングは、コア23cを伝搬する光ビームのうち、その周期 Λ_F に対応した特定波長の光のみを反射回折させ、光波長変換素子15を介して半導体レーザ100にフィードバックさせる。つまりこの装置では、コア23cに形成されたグレーティングと半導体レーザ100の後方端面(図20中の左方の端面)によって半導体レーザ100の外部共振器が構成されている。

【0111】したがって、上記グレーティングの周期 Λ_F を所定値に設定しておくことにより、半導体レーザ100の発振波長を、ドメイン反転部17の周期と位相整合する波長に選択、ロックすることができる。

【0112】次に図22を参照して、本発明の第16の実施形態について説明する。この第16の実施形態の光波長変換モジュールにおいて、第2高調波19はダイクロイックミラー30を透過して利用位置に導かれ、レーザビーム11はこのダイクロイックミラー30で反射してファイバークレーティング23に導かれる。

【0113】この場合も、ファイバークレーティング23のコアに形成されたグレーティングと半導体レーザ100の後方端面(図22中の左方の端面)によって半導体レーザ100の外部共振器が構成され、図20の装置におけるのと同様の効果が得られる。

【0114】次に図23を参照して、本発明の第17の実施形態について説明する。この第17の実施形態の光波長変換モジュールは、図20のものと比べると、波長変換されなかったレーザビーム11と第2高調波19とを分離する手段が異なるものである。すなわち本装置においては、ファイバークレーティング33として、前述と同様の屈折率変化部を有する第1のファイバー34と、この第1のファイバー34に結合された第2のファイバー35とからなるものが用いられている。これら第1のファイバー34および第2のファイバー35は、波長選択ファイバカップラを構成している。

【0115】光波長変換素子15から発散光状態で出射したレーザビーム11および第2高調波19は、収束光学系としての集光レンズ31により収束せしめられる。この収束位置には、ファイバークレーティング33の第2のファイバー35の一端面が配されており、レーザビーム11および第2高調波19はこの第2のファイバー35に入射する。この第2のファイバー35に入射してそこを伝搬した第2高調波19は、該第2のファイバー35の他端面から発散光状態で出射し、コリメーターレンズ20によって平行光化された上で、利用位置に導かれる。

【0116】一方、第2のファイバー35に入射してそこを伝搬したレーザビーム11は、両ファイバー34、35の結合部分において第1のファイバー34の方に移り、該第1のファイバー34を伝搬してその屈折率変化部において反射回折する。反射回折したレーザビーム11は、第2のファイバー35および光波長変換素子15を介して半導体レーザ100にフィードバックされ、そこでこの場合も図20の装置におけるのと同様の効果が得られることになる。

【0117】なお上記とは反対に、集光レンズ31により収束したレーザビーム11および第2高調波19をまず第1のファイバー34に入射させ、該第1のファイバー34を伝搬する第2高調波19を第2のファイバー35の方に移すようにしてもよい。

【0118】以上説明した第15、16および17の実施形態はいずれも、光波長変換素子15から波長変換されずに出射した基本波としてのレーザビーム11をファイバークレーティングにより反射回折させるものであるが、次に、光波長変換素子15に入射する前のレーザビーム11をファイバークレーティングにより反射回折させるようにした3つの実施形態について説明する。

【0119】図24は、本発明の第18の実施形態による光波長変換モジュールを示すものである。この光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザ100から発散光状態で出射したレーザビーム11は、収束光学系としての集光レンズ40により収束せしめられる。この収束位置には、図20の装置で用いられたものと同様のファイバークレーティング23の一端面が配されており、レーザビーム11はこのファイバークレーティング23に入射する。

【0120】ファイバークレーティング23を伝搬したレーザビーム11の一部は、該ファイバークレーティング23の屈折率変化部において反射回折する。反射回折したレーザビーム11は、集光レンズ40を介して半導体レーザ100にフィードバックされ、そこでこの場合も図20の装置におけるのと同様の効果が得られることになる。

【0121】一方、ファイバークレーティング23を伝搬してその他端面から出射したレーザビーム11は、集光レンズ41により集光されて光波長変換素子15のチャンネル光導波路18に入射し、そこで第2高調波19に波長変換される。光波長変換素子15から発散光状態で出射した第2高調波19およびレーザビーム11は、コリメーターレンズ

20によって平行光化され、第2高調波19が利用位置に導かれる。この第2高調波19をレーザビーム11から分離させるには、既に説明したようなものを適宜用いればよい。

【0122】次に図25を参照して、本発明の第19の実施形態について説明する。この第19の実施形態の光波長変換モジュールにおいては、コリメーターレンズ12によって平行光化されたレーザビーム11がビームスプリッタ45によって分岐される。すなわち、このビームスプリッタ45を透過したレーザビーム11は、図20の装置におけるのと同様にして光波長変換素子15に導かれる。他方、このビームスプリッタ45で反射したレーザビーム11はミラー46で反射した後、集光レンズ22で集光されてファイバグレーティング23に入射する。

【0123】ファイバグレーティング23に入射してそこを伝搬したレーザビーム11は、該ファイバグレーティング23の屈折率変化部において反射回折する。反射回折したレーザビーム11は、ミラー46やビームスプリッタ45等を介して半導体レーザ100にフィードバックされ、そこでこの場合も図20の装置におけるのと同様の効果が得られる。

【0124】なおこの実施形態においては、コリメーターレンズ12および集光レンズ22により、光波長変換素子15に入射する前のレーザビーム11を収束させる収束光学系が構成されている。

【0125】次に図26を参照して、本発明の第20の実施形態について説明する。この第20の実施形態の光波長変換モジュールは、前述した図24の光波長変換モジュールと比べると、ファイバグレーティング23に代えて、ファイバカップラを構成するファイバグレーティング50が用いられている点が異なるものである。このファイバグレーティング50は、屈折率変化部を有する第1のファイバー51と、該第1のファイバー51に結合された第2のファイバー52とからなるものである。

【0126】上記第2のファイバー52に入射してそこを伝搬するレーザビーム11は、一部が両ファイバー51、52の結合部分において第1のファイバー51の方に移って、二系統に分岐される。第2のファイバー52を伝搬してその他端面から出射したレーザビーム11は、集光レンズ41により集光されて光波長変換素子15のチャンネル光導波路18に入射し、そこで第2高調波19に波長変換される。光波長変換素子15から発散光状態で出射した第2高調波19およびレーザビーム11は、コリメーターレンズ20によって平行光化され、第2高調波19が利用位置に導かれる。この第2高調波19をレーザビーム11から分離させるには、既に説明したようなものを適宜用いればよい。

【0127】一方、第1のファイバー51に移ったレーザビーム11は、該第1のファイバー51を伝搬してその屈折率変化部において反射回折する。反射回折したレーザビーム11は、集光レンズ40を介して半導体レーザ100にフ

ィードバックされ、そこでこの場合も図20の装置におけるのと同様の効果が得られることになる。

【0128】次に図27を参照して、半導体レーザ100の後方出射光を利用してその発振波長を選択、ロックするようにした本発明の第21の実施形態について説明する。この第21の実施形態の光波長変換モジュールにおいては、光波長変換素子15に向かわないレーザビーム11R（後方出射光）が、収束光学系としての集光レーティング23の屈折率変化部において反射回折する。反射回折したレーザビーム11Rは、集光レンズ60を介して半導体レーザ100にフィードバックされ、そこでこの場合も図20の装置におけるのと同様の効果が得られる。

【0129】以上説明した第2～21の実施形態においても、基本波光源として、第1の実施形態で用いられたものと同様の半導体レーザ、すなわちMQW活性層125の3つの量子井戸層の厚みがそれぞれ互いに異なる半導体レーザ100が用いられていることにより、MQW活性層125の全体の利得スペクトルが拡大し、より広い波長範囲において発振波長を選択、ロックが可能となっている。

【0130】なお以上説明した第1～21の実施形態においては全て、MgO-LNのインゴット16'を、Y軸をYZ面内でZ軸側に3°回転させた軸に対して垂直な面でカット、研磨して得られたMgO-LN基板（3°Yカット基板）16が用いられているが、本発明ではそれ以外の方位でカットされた基板を用いることも可能である。例えば図28に示すように、MgO-LNのインゴット16'を、そのZ軸をZX面内でX軸側に87°回転させた軸Z'に垂直となる面でカット、研磨して得た基板（87°Zカット基板）も好適に用いることができる。

【0131】また、以上例示した基板は、その表面に平行な方向および垂直な方向に対して、それぞれZ軸およびY軸がオフセットしているものであるが、少なくともZ軸がオフセットしていれば同様の効果が得られるものである。

【0132】次に図29を参照して、本発明の第22の実施形態について説明する。この第22の実施形態の光波長変換モジュールは、図9に示した光波長変換モジュールと比べると基本的に、半導体レーザ100'が光波長変換素子15の端面に直接結合されている点が異なるものであり、半導体レーザ100'の発振波長を選択、ロックは図9の光波長変換モジュールにおけるのと同様にしてなされる。

【0133】基本横モードの半導体レーザ100'の発振光の近視野像と、導波路型光波長変換素子15における導波光の電界分布とは互いに比較的近い形状となっているので、レンズ光学系を用いなくても、半導体レーザ100'の発振光と導波光とを60～80%程度以上の高い効率で結合することが可能である。

【0134】なお本実施形態で用いられている半導体レ

ーザ100'は、基本的な構造は第1〜21の実施形態において用いられた半導体レーザ100と同様のものであるが、そのMQW活性層125'は、GaAs_{0.75}P_{0.25}障壁層(9nm)、In_{0.15}Ga_{0.85}As量子井戸層(5nm)、In_{0.15}Ga_{0.85}As_{0.75}P_{0.25}障壁層(4nm)、In_{0.15}Ga_{0.85}As量子井戸層(6nm)、In_{0.15}Ga_{0.85}As_{0.75}P_{0.25}障壁層(4nm)、In_{0.15}Ga_{0.85}As量子井戸層(7nm)およびGaAs_{0.75}P_{0.25}障壁層(9nm)を有する3重量子井戸構造のものであって、第1番目と第3番目の量子井戸層の厚みが前述の半導体レーザ100におけるのとは異なっている。しかしこの場合も、3重量子井戸構造を構成する3つの量子井戸層の厚みが互いに異なっていることから、MQW活性層125'の全体の利得スペクトルが拡大し、より広い波長範囲において発振波長の選択、ロックが可能となっている。

【0135】次に図30を参照して、本発明の第23の実施形態について説明する。この第23の実施形態の光波長変換モジュールは、図27に示した光波長変換モジュールと比べると基本的に、半導体レーザ100が光波長変換素子15の端面に直接結合されている点が異なるものであり、半導体レーザ100の発振波長の選択、ロックは図27の光波長変換モジュールにおけるのと同様にしてなされる。

【0136】次に図31を参照して、本発明の第24の実施形態について説明する。この第24の実施形態の光波長変換モジュールは、図30に示した光波長変換モジュールと比べると基本的に、波長選択光学素子であるファイバグレーティング23が半導体レーザ100の後方端面に直接結合されている点が異なるものであり、半導体レーザ100の発振波長の選択、ロックは図30の光波長変換モジュールにおけるのと同様にしてなされる。

【0137】次に図32を参照して、本発明の第25の実施形態について説明する。この第25の実施形態の光波長変換モジュールは、図31に示した光波長変換モジュールと比べると基本的に、ファイバグレーティング23に代えて導波路型の波長選択光学素子200が用いられた点が異なるものである。この波長選択光学素子200は、例えばMgOがドーピングされたLiNbO₃の結晶からなる基板201にチャンネル光導波路202が形成され、そしてこのチャンネル光導波路202に沿ってDBRグレーティング203が形成されてなるものである。

【0138】本例では、半導体レーザ100の光波長変換素子15側の端面100eに反射率30%程度のコートが形成され、導波路型の波長選択光学素子200の半導体レーザ100側の端面200bには、反射率0.1%以下程度の低反射コートが形成されている。また、半導体レーザ100の波長選択光学素子200側の端面100dにも、反射率0.1%以下程度の低反射コートが形成されている。

【0139】このような構成の場合、半導体レーザ100はファブリペロモードでは発振せず、波長選択光学素子200を外部共振器の片側の共振器ミラーとして発振するようになる。なお、波長選択光学素子200の端面200aにはほとんど光が到達しないが、この端面200aに反射率0.1〜1%程度以下の低反射コートを施しておけば、不要反射の影響を防止できる。

【0140】本実施形態の光波長変換モジュールにおいて、半導体レーザ100の後方端面(図32中の左端面)100dから出射した後方出射光は、波長選択光学素子200のチャンネル光導波路202に入射してそこを導波モードで伝搬し、DBRグレーティング203で反射回折して半導体レーザ100に戻る。このとき、DBRグレーティング203の波長選択作用により、反射回折するレーザビームの波長が選択される。このように波長選択されたレーザビームが半導体レーザ100にフィードバックすることにより、該半導体レーザ100の発振波長が選択、ロックされるので、安定した出力の第2高調波19を得ることができる。

【0141】以上説明した第23、24および25の実施形態においても、基本波光源として、MQW活性層125の3つの量子井戸層の厚みがそれぞれ互いに異なる半導体レーザ100が用いられていることにより、MQW活性層125の全体の利得スペクトルが拡大し、より広い波長範囲において発振波長の選択、ロックが可能となっている。

【0142】次に図33を参照して、本発明の第26の実施形態について説明する。同図に平面形状を示すこの第26の実施形態の光波長変換モジュールは、図32に示した光波長変換モジュールと比較すると、半導体レーザ100、光波長変換素子15および波長選択光学素子200の配置関係が異なるものであり、ここでは、光波長変換素子15が半導体レーザ100と波長選択光学素子200との間に配設されている。

【0143】この場合、半導体レーザ100が発する基本波としてのレーザビームの波長に対して、該半導体レーザ100の光波長変換素子15側の端面およびそれと反対側の端面にはそれぞれLR(低反射)コート、HR(高反射)コートが、光波長変換素子15の両端面にはともにAR(無反射)コートが、そして波長選択光学素子200の光波長変換素子15側の端面およびそれと反対側の端面にはそれぞれARコート、ARコートが施されている。

【0144】このような構成においても、波長選択光学素子200に入射した基本波の一部がそこで波長選択されつつ反射回折して半導体レーザ100に戻り、それにより半導体レーザ100の発振波長が選択、ロックされるので、安定した出力の第2高調波を得ることができる。

【0145】次に図34を参照して、本発明の第27の実施形態による光波長変換モジュールについて説明する。同図に平面形状を示すこの第27の実施形態の光波長変換モジュールも、図32に示した光波長変換モジュール

ールと比較すると、半導体レーザ100、光波長変換素子15および波長選択光学素子200の配置関係が異なるものであり、ここでは、波長選択光学素子200が半導体レーザ100と光波長変換素子15との間に配設されている。

【0146】この場合、半導体レーザ100が発する基本波としてのレーザビームの波長に対して、該半導体レーザ100の波長選択光学素子200側の端面およびそれと反対側の端面にはそれぞれLRコート、HRコートが、波長選択光学素子200の両端面にはともにARコートが、そして光波長変換素子15の両端面にはともにARコートが施されている。なお半導体レーザ100の波長選択光学素子200側の端面には、LRコートの代わりにARコートを施してもよい。

【0147】このような構成においても、波長選択光学素子200に入射した基本波の一部がそこで波長選択されつつ反射回折して半導体レーザ100に戻り、それにより半導体レーザ100の発振波長が選択、ロックされるので、安定した出力の第2高調波を得ることができる。

【0148】次に図35を参照して、本発明の第28の実施形態による光波長変換モジュールについて説明する。同図に平面形状を示すこの第28の実施形態の光波長変換モジュールにおいては、図35に示した光波長変換モジュールと同様に、半導体レーザ100が波長選択光学素子200と光波長変換素子15との間に配設されている。

【0149】この場合、半導体レーザ100が発する基本波としてのレーザビームの波長に対して、該半導体レーザ100の両端面にはともにLRコートが、波長選択光学素子200の両端面にはともにARコートが、そして光波長変換素子15の両端面にはともにARコートが施されている。

【0150】この構成においては、半導体レーザ100から光波長変換素子15と反対側に射出したレーザビーム（後方射出光）が波長選択光学素子200で波長選択されつつ反射回折して半導体レーザ100に戻り、それにより半導体レーザ100の発振波長が選択、ロックされるので、安定した出力の第2高調波を得ることができる。

【0151】なお本実施形態では特に、波長選択光学素子200の半導体レーザ100と反対側の端面200aが、該波長選択光学素子200の光導波路の延びる方向に対して斜めにカットされているので、この端面200aで反射した基本波が波長選択光学素子200の光導波路に再入射することがなくなる。そうであれば、この再入射した基本波が半導体レーザ100にいわゆる戻り光となって入射することがなくなるので、この戻り光によるノイズの発生や出力変動の問題を防止することができる。

【0152】次に図36を参照して、本発明の第29の実施形態による光波長変換モジュールについて説明する。同図に平面形状を示すこの第29の実施形態の光波長変換モジュールは、透過型の波長選択光学素子210が

半導体レーザ100と光波長変換素子15との間に配設されてなるものである。

【0153】この実施形態において、半導体レーザ100が発する基本波としてのレーザビームの波長に対して、該半導体レーザ100の両端面にはともにLRコートが、波長選択光学素子210の両端面にはともにARコートが、そして光波長変換素子15の波長選択光学素子210側の端面にはARコートが、その反対側の端面にはHRコートが施されている。

【0154】この構成において、波長選択光学素子210を透過して波長選択された基本波は、上記光波長変換素子15のHRコートが施された端面で反射して半導体レーザ100に戻る。それにより本例においても、半導体レーザ100の発振波長が選択、ロックされるので、安定した出力の第2高調波を得ることができる。

【0155】以上説明した第26、27、28および29の実施形態においても、基本波光源として、MQW活性層の3つの量子井戸層の厚みがそれぞれ互いに異なる半導体レーザ100が用いられていることにより、MQW活性層全体の利得スペクトルが拡大し、より広い波長範囲において発振波長の選択、ロックが可能となっている。

【0156】なお本発明の光波長変換モジュールにおいて用いられる半導体レーザは、先に説明した半導体レーザ100や半導体レーザ100'に限られるものではなく、その他例えば、図37に示す半導体レーザ300等も適用可能である。この図37の半導体レーザ300はリッジ導波路型の基本横モードレーザであり、n-GaAs基板301、n-GaAsバッファ層302、n-InGaPクラッド層303、InGaAsP光ガイド層304、MQW活性層305、InGaAsP光ガイド層306、p-InGaPクラッド層307、p-GaAsキャップ層308、SiO₂層309、p側電極310およびn側電極311を備えてなる。

【0157】この種の半導体レーザにおいても、MQW活性層305を構成する複数の量子井戸層のうちの少なくとも一つを、他の量子井戸層と組成および/または厚みが異なるようにしておけば、既述の各実施形態におけるのと同様の効果を得ることができる。

【0158】また、以上説明した各実施形態の光波長変換モジュールは、GaAs基板を用いて形成された半導体レーザが発する中心波長946nmのレーザビームを波長473nmの第2高調波に波長変換するものであるが、本発明の光波長変換モジュールはそれに限らず、例えばGaAs基板を用いて形成された半導体レーザが発するその他の波長帯（630～1100nm）のレーザビームや、InP基板を用いて形成された半導体レーザが発する主に1250～1700nm帯のレーザビームを波長変換するように構成することも勿論可能である。

【0159】さらに本発明の光波長変換モジュールにおいては、光導波路のドメイン反転部よりも導波方向上流側において、該光導波路を導波する光を変調する電気光学変調部が形成されてもよい。このような電気光学

変調部を有する光波長変換モジュールについては、例えば本出願人による特開平 10-161165 号公報に詳しい記載がなされている。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 2】上記光波長変換モジュールの要部を示す斜視図

【図 3】上記光波長変換モジュールに用いられた半導体レーザの断面模式図

【図 4】上記第 1 実施形態の光波長変換モジュールに用いられた光波長変換素子を作成する様子を示す概略斜視図

【図 5】上記光波長変換素子に用いられる基板のカット状態を説明する概略図

【図 6】上記光波長変換素子に形成されるドメイン反転部を示す概略斜視図

【図 7】本発明の第 2 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 8】本発明の第 3 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 9】本発明の第 4 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 10】本発明の第 5 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 11】本発明の第 6 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 12】本発明の第 7 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 13】本発明の第 8 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 14】本発明の第 9 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 15】本発明の第 10 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 16】本発明の第 11 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 17】本発明の第 12 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 18】本発明の第 13 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 19】本発明の第 14 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 20】本発明の第 15 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 21】上記第 15 実施形態による光波長変換モジュールの要部を示す概略側面図

【図 22】本発明の第 16 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 23】本発明の第 17 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 24】本発明の第 18 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 25】本発明の第 19 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 26】本発明の第 20 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 27】本発明の第 21 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 28】本発明に用いられる光波長変換素子用基板の別のカット状態を説明する概略図

【図 29】本発明の第 22 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 30】本発明の第 23 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 31】本発明の第 24 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 32】本発明の第 25 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略側面図

【図 33】本発明の第 26 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略平面図

【図 34】本発明の第 27 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略平面図

【図 35】本発明の第 28 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略平面図

【図 36】本発明の第 29 実施形態による光波長変換モジュールを示す概略平面図

【図 37】本発明の光波長変換モジュールに用いられる別の半導体レーザの断面模式図

【図 38】本発明の効果を説明する説明図

【符号の説明】

11 レーザビーム（基本波）

11R レーザビーム（後方出射光）

12 コリメーターレンズ

13 集光レンズ

14 狭帯域バンドパスフィルター

15 光波長変換素子

16 MgO-LN 結晶基板

17 ドメイン反転部

18 チャンネル光導波路

40 18a、18b チャンネル光導波路の端面

19 第 2 高調波

20 コリメーターレンズ

21 ダイクロイックミラー

22 集光レンズ

23 ファイバークレーティング

23a ファイバークレーティングのコア端面

23b ファイバークレーティングのコア

23c ファイバークレーティングのクラッド

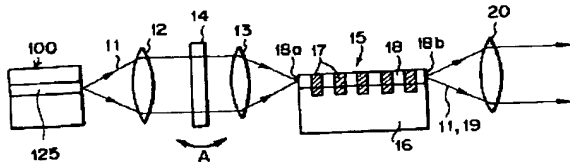
30 ダイクロイックミラー

50 31 集光レンズ

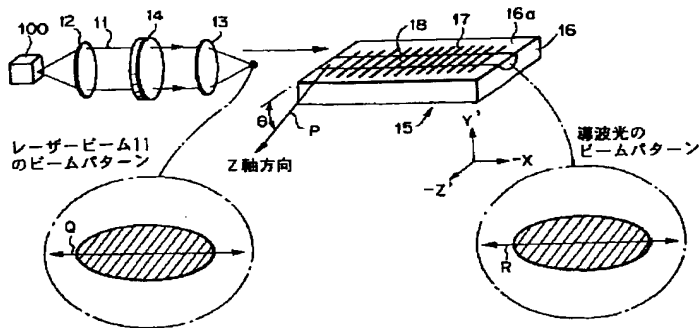
- 31
 33 ファイバグレーティング
 34 第1のファイバー
 35 第2のファイバー
 40、41 集光レンズ
 45 ビームスプリッタ
 46 ミラー
 50 ファイバグレーティング
 51 第1のファイバー
 52 第2のファイバー
 60 集光レンズ
 80 楕形電極
 81 平板電極
 82 ビームスプリッタ
 84 集光レンズ

- 32
 * 85 ミラー
 86 コリメーターレンズ
 90 透過型バルクグレーティング
 91 透過型狭帯域薄膜バンドパスフィルター
 92 反射型バルクグレーティング
 95 反射型狭帯域薄膜バンドパスフィルター
 100 半導体レーザ
 100a、100b、100d、100e 半導体レーザの端面
 125 半導体レーザの多重量子井戸活性層
 10 200、210 波長選択光学素子
 202 波長選択光学素子のチャンネル光導波路
 203 波長選択光学素子のDBRグレーティング
 300 半導体レーザ
 * 305 半導体レーザの多重量子井戸活性層

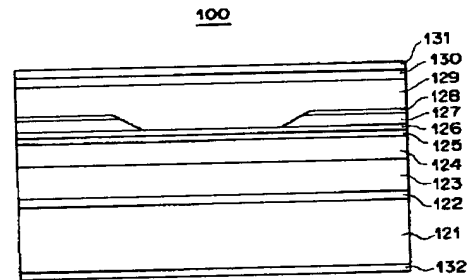
【図1】



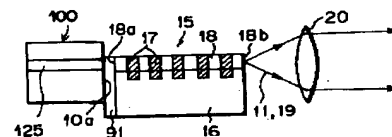
【図2】



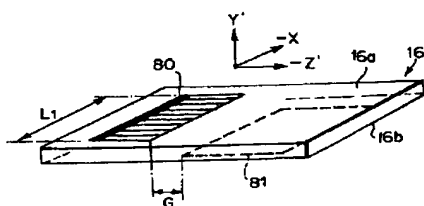
【図3】



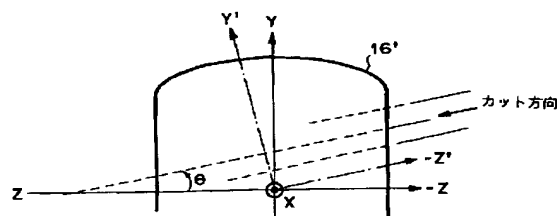
【図13】



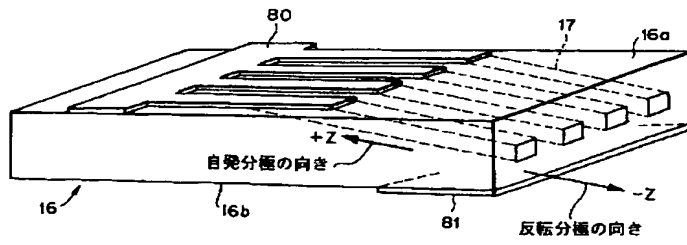
【図4】



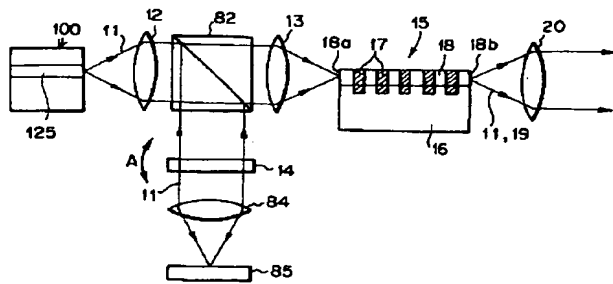
【図5】



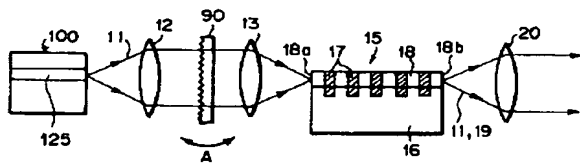
【図6】



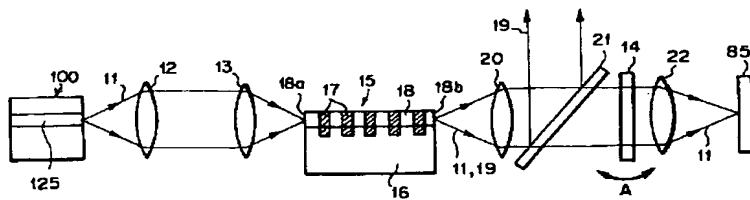
【図7】



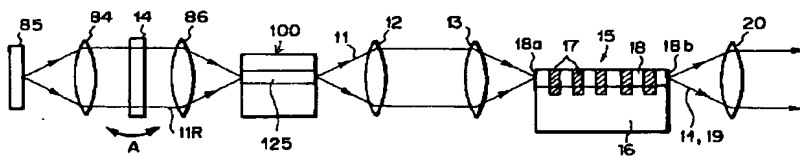
【図10】



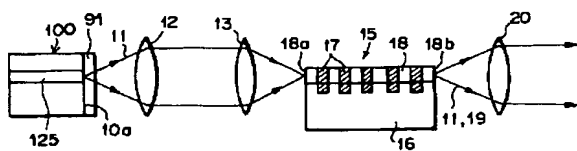
【図8】



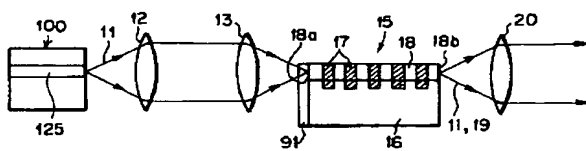
【図9】



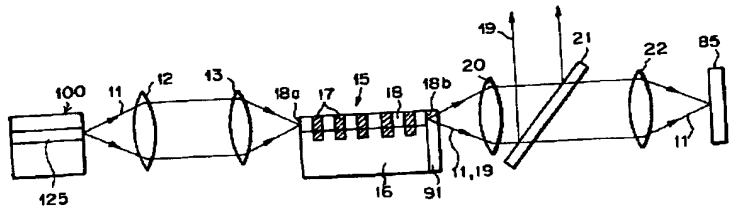
【図11】



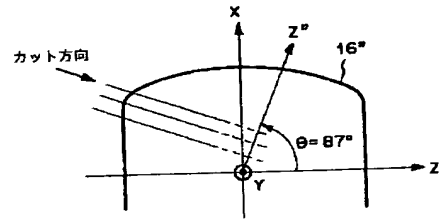
【図12】



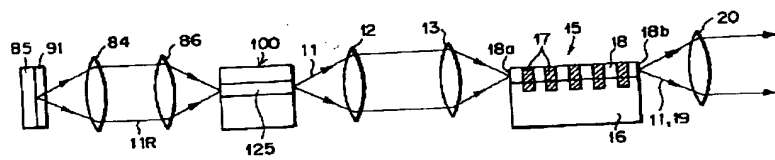
【図14】



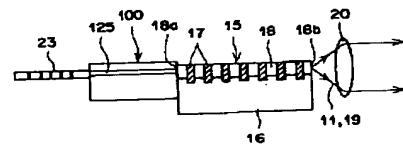
【図28】



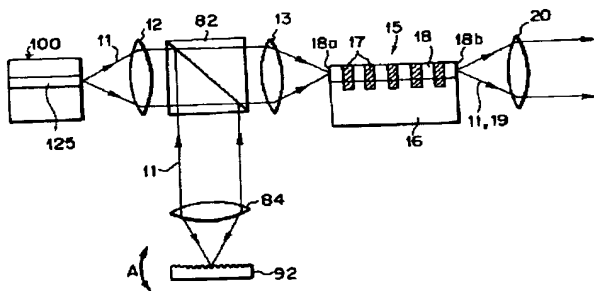
【図15】



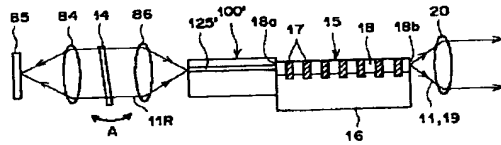
【図31】



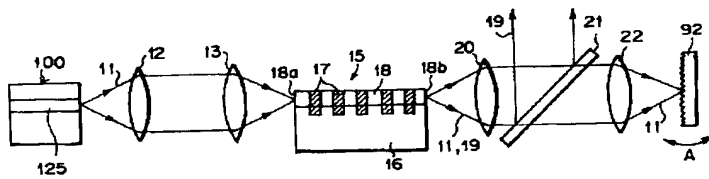
【図16】



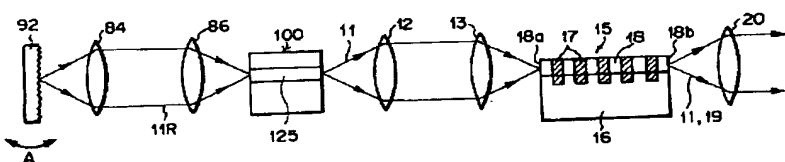
【図29】



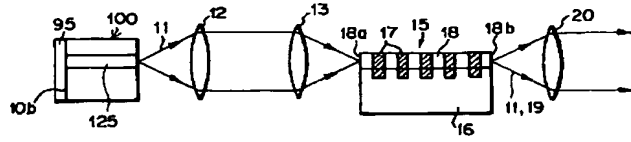
【図17】



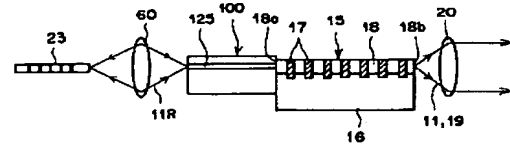
【図18】



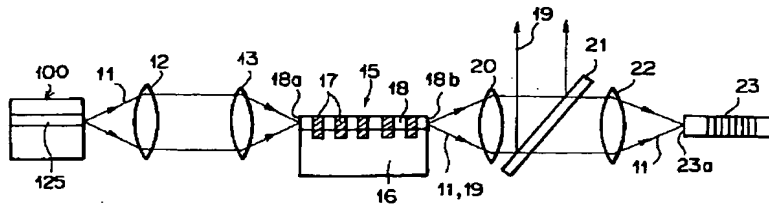
【図19】



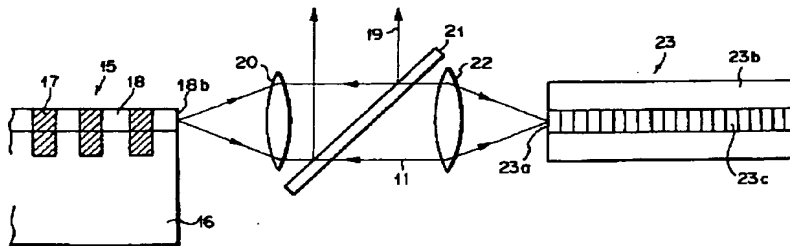
【図30】



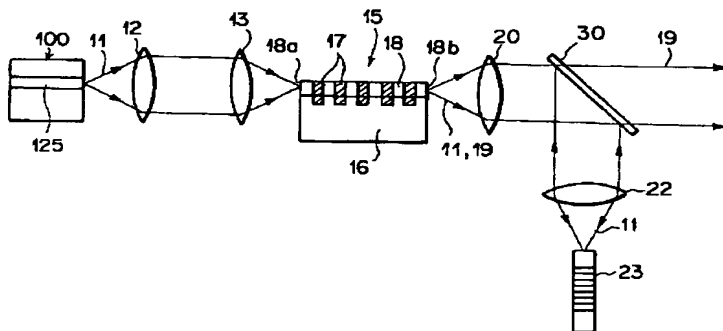
【図20】



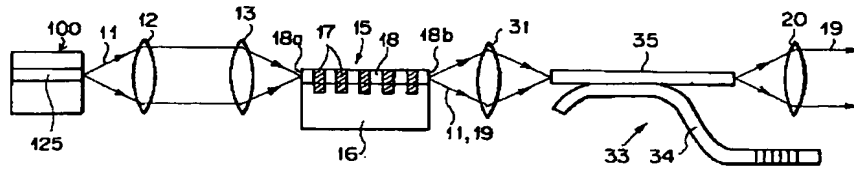
【図21】



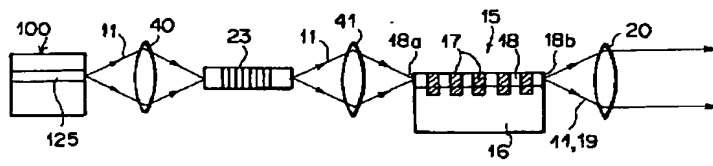
【図22】



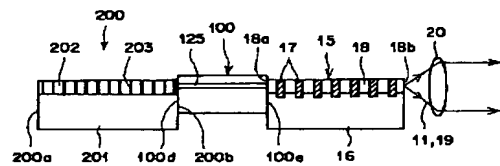
【図23】



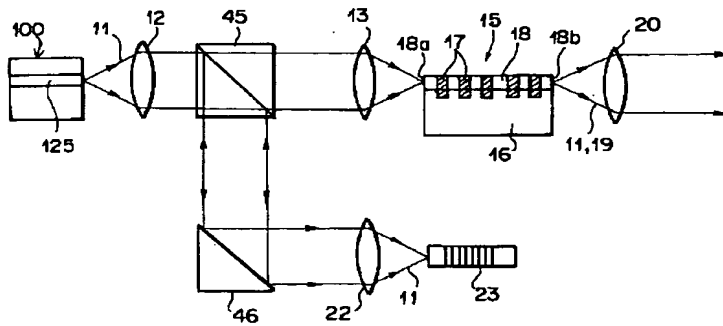
【図24】



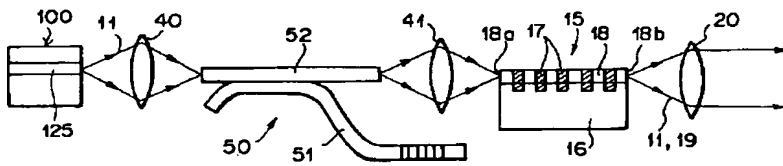
【図32】



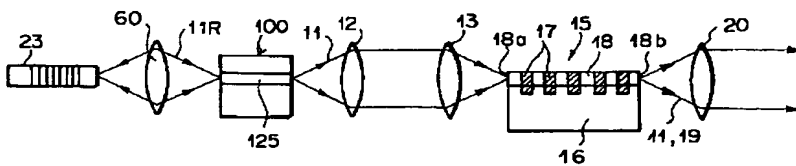
【図25】



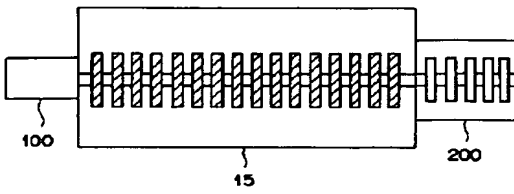
【図26】



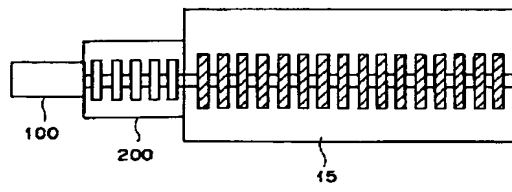
【図27】



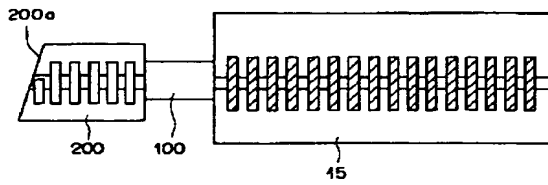
【図33】



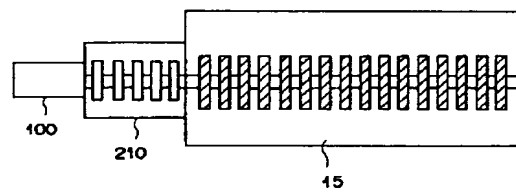
【図34】



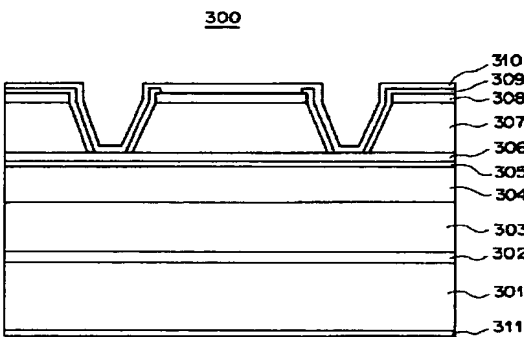
【図35】



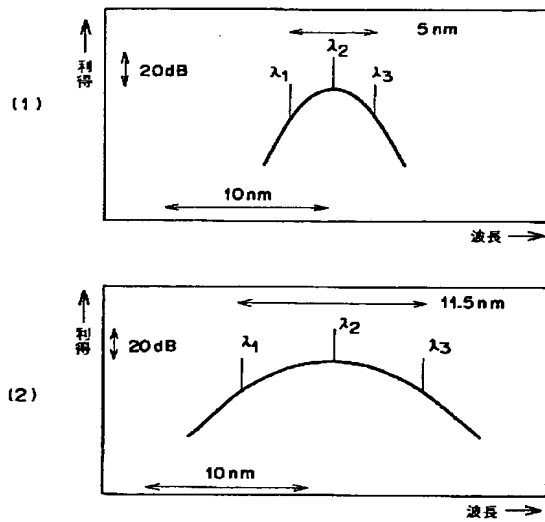
【図36】



【図37】



【図38】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.